

Title	A study of advanced integrated semiconductor device and process technologies for data storage and transmission(Abstract_要旨)
Author(s)	Horikawa, Tsuyoshi
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2016-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.r13015
Right	許諾条件により本文は2017-03-10に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士（工学）	氏名	堀川 剛
論文題目	A study of advanced integrated semiconductor device and process technologies for data storage and transmission（データ記憶及び伝送のための先進的集積半導体デバイス・プロセス技術に関する研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、集積半導体デバイスの高性能・高集積化において不可欠であるデータ記憶の大容量化とデータ伝送の大容量・高速化について、メモリセルを構成するデータ記憶素子であるキャパシタの誘電膜への高誘電率材料チタン酸バリウムストロンチウム（BST）の適用と、データ伝送に光を用いる光配線集積回路におけるシリコン光導波路の広帯域・低損失化に関する材料・プロセス技術の開発から、デバイス構造の提案・試作と性能実証に至る一連の研究成果をまとめたものであり、7章から成っている。</p> <p>第1章は序論であり、集積半導体デバイスの歴史と現状を述べるとともに、デバイスの高性能・高集積化を引き続き実現していくために必要な技術のうち、メモリの大容量化とデータ伝送の広帯域・低損失化に関する要求について説明している。</p> <p>第2章では、プラズマスパッタ法を用いて白金電極上に形成したペロブスカイト構造を有する BST 薄膜について、誘電特性の成膜基板温度と膜厚に対する依存性を系統的に調べている。これにより、膜厚 50～200 nm の BST 薄膜が、200～500 程度の高い比誘電率と 10^{-7} A/cm² 程度以下の低いリーク電流を兼ね備えるとともに、薄膜では結晶粒サイズが小さいためバルク BST 材料が示す強誘電性を示さず大容量メモリセルキャパシタに適用可能であることを初めて明らかにした。さらに、BST 薄膜に矩形パルス電圧を印加すると、電圧の立上り・立下り時に誘電緩和に起因して瞬時に変化する吸収電流が発生し、メモリセルキャパシタの蓄積電荷の実効的な減少が生じることを明らかにした。</p> <p>第3章では、デバイス高集積化に対応できる立体的な BST キャパシタ形成のためのプロセス技術を開発している。具体的には、バリウム・ストロンチウム・チタニウム3種類の有機金属原料の有機溶液を用いる溶液気化化学気相堆積法において、チタニウム有機金属原料の最適化により、立体的な電極の上部と側壁にほぼ同じ膜厚を有するすなわち段差被覆性の高い BST 成膜を実現した。また、BST の二段階成膜と成膜後のポストアニールにより、BST 薄膜の結晶性が改善され誘電特性が向上することを明らかにした。さらに、BST キャパシタの電氣的信頼性について調べ、DC およびバイポーラ型両方のストレスに対して膜の絶縁破壊時間の対数が電界強度に逆比例し、実用的な電圧においてキャパシタが十分な信頼性を有すること、絶縁破壊に先立ち膜の抵抗が劣化する現象が見られること、BST の化学量論組成からのずれが膜の絶縁破壊時間に顕著な影響を与えること、を示した。</p> <p>第4章では、上の第2章で得られた知見と第3章で開発した技術をもとに、三次元立体的なギガビットスケールのメモリセルアレイ構造を提案・試作している。具体的には、セルトランジスタの上部にストレージ電極を延伸させた単純スタック型のメモ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	堀川 剛
<p>リセルについて、白金よりプラズマ微細加工性と耐熱性に優れるルテニウムをストレージ電極材料として用い、背の高いすなわちアスペクト比の高いストレージ電極と、段差被覆性の高い溶液気相化学気相堆積法により堆積した BST 膜を用いることで、必要なセル容量を確保できることを示すとともに、その電気特性と信頼性を評価し、高誘電率 BST キャパシタの実デバイスにおける有用性を初めて実証した。</p> <p>第 5 章では、光集積回路の基本かつ重要な構成要素であるシリコン光導波路について、デバイス設計およびプロセス技術を開発している。具体的には、導波路デバイスの曲線部の滑らかなパターン形成を可能とする電子ビーム露光技術、導波路側壁の垂直形状とラインエッジラフネス低減を可能とするプラズマ微細加工技術、および加工後の導波路表面をより滑らかにするためのポストアニール技術を構築した。さらに、開発した技術と、可変整形電子ビーム露光技術及び ArF 液浸露光技術を用いることにより、100 nm サイズの矩形断面形状を有するシリコン細線導波路デバイスを試作して、その世界最高レベルの広帯域・低損失性を実証した。また、導波路の光伝搬損失の定量的予測との比較から、これら低損失の導波路においても、損失の主な要因は導波路の表面散乱であることを明らかにした。</p> <p>第 6 章では、さらに、同一ウエハ上に形成された多数の光学素子の高精度・高速特性評価のため、自動調心機構を有するプロービングシステムを開発している。これにより、上の第 5 章で開発したシリコン細線導波路デバイスの光学特性のウエハ面内ばらつきが小さいことを実証した。また、このプロービングシステムを光集積回路の基本かつ重要なもう一つの構成要素である結合共振器導波路の光学特性評価にも適用し、開発したシステムが、光集積回路製造工程におけるインライン評価に広く適用できることを示した。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の研究展開について言及している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

集積半導体デバイスの高性能・高集積化において、データ記憶の大容量化とデータ伝送の大容量・高速化は不可欠である。本論文は、メモリセルを構成するデータ記憶素子であるキャパシタの誘電膜への高誘電率材料チタン酸バリウムストロンチウム(BST)の適用と、データ伝送に光を用いる光配線集積回路におけるシリコン光導波路の広帯域・低損失化について、関連する材料・プロセス技術の開発から、デバイス構造の提案・試作と性能実証に至る一連の研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) プラズマスパッタ法を用いて白金電極上に形成したペロブスカイト構造を有する BST 薄膜について、誘電特性の成膜基板温度と膜厚に対する依存性を系統的に調べた。これにより、膜厚 50~200 nm の BST 薄膜が、200~500 程度の高い比誘電率と 10^{-7} A/cm² 程度以下の低いリーク電流を兼ね備えるとともに、薄膜では結晶粒サイズが小さいためバルク BST 材料が示す強誘電性を示さず大容量メモリセルキャパシタに適用可能であることを初めて明らかにした。さらに、BST 薄膜に矩形パルス電圧を印加すると、電圧の立上り・立下り時に誘電緩和に起因して瞬時に変化する吸収電流が発生し、メモリセルキャパシタの蓄積電荷の実効的な減少が生じることを明らかにした。

(2) 次に、デバイス高集積化に対応できる立体的な BST キャパシタ形成のためのプロセス技術を開発した。具体的には、有機金属原料の有機溶液を用いる溶液気化化学気相堆積法において、チタニウムの有機金属原料の最適化により立体的な電極の上部と側壁に段差被覆性の高い BST 成膜を実現した。また、BST の二段階成膜と成膜後のポストアニールにより、BST 薄膜の結晶性が改善され誘電特性が向上することを明らかにした。開発した技術をもとに、さらに白金よりプラズマ微細加工性と耐熱性に優れるルテニウム電極を用いてギガビットスケールのメモリセルアレイ構造を提案・試作して、その電気特性と信頼性を評価し、高誘電率 BST キャパシタの実デバイスにおける有用性を初めて実証した。

(3) 光集積回路の基本かつ重要な構成要素であるシリコン光導波路について、デバイス設計、プロセス、および評価技術の開発を行った。具体的には、導波路デバイスの曲線部の滑らかなパターン形成を可能とする電子ビーム露光技術、導波路側壁の垂直形状とラインエッジラフネス低減を可能とするプラズマ微細加工技術、加工後の導波路表面をより滑らかにするためのポストアニール技術、および同一ウエハ上に形成された多数の光学素子の高精度・高速特性評価のためのプロービングシステムを構築した。開発した技術をもとに、100 nm サイズの矩形断面形状を有するシリコン細線導波路デバイスを試作して、その広帯域・低損失性と素子間特性ばらつきの低減を実証し、これら新しい開発技術の有用性を示した。

以上、要するに、本論文は、メモリセルを構成するキャパシタの誘電膜への高誘電率材料 BST の適用と、光集積回路のシリコン光導波路の広帯域・低損失化について、関連する材料およびプロセス技術を開発するとともに、デバイス構造を提案し試作・性能実証したものであり、得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。